

## \* NOTICES \*

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

---

CLAIMS

---

## (57) [Claim(s)]

[Claim 1] A signal generation means to generate the step pulse as an excitation signal which a device under test and complex permittivity give to the known standard substance, A detection means to carry out incidence of the excitation signal from said signal generation means to a device under test and the standard substance, and to detect the device under test and the reflected wave from the standard substance, A means to incorporate said device under test detected through said detection means, and the reflected wave from the standard substance in order of time amount progress, and to record them, According to a frequency component, it asks for a difference and the sum about the reflected wave from said said recorded standard substance, and the reflected wave from said device under test. The physical-properties measuring device characterized by having a signal-processing means to ask for the complex permittivity of a device under test using the complex permittivity according to the frequency component of said standard substance recorded beforehand.

[Claim 2] Said detection means is a physical-properties measuring device according to claim 1 characterized by coming to contain the probe which constituted in the plane the end face which arranges other conductors to coaxial-circles tubed, and is made to contact a device under test by making one core wire into a medial axis.

[Claim 3] Said standard substance is a physical-properties measuring device according to claim 1 or 2 characterized by the complex permittivity being close to the complex permittivity of a device under test.

---

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

**DETAILED DESCRIPTION**

---

**[Detailed Description of the Invention]****(Field of the invention on industry)**

About the equipment which can measure the physical properties of a device under test, this invention gives an excitation signal to especially a device under test, decomposes the reflected wave from the device under test into a frequency component, and relates to the physical-properties measuring device which acquires the physical properties of a device under test from the frequency component concerned.

**(Prior art)**

Conventionally, this kind of physical-properties measuring device is known as equipment which can measure the property of a device under test. It is such a physical-properties measuring device, and the electrical property of a device under test and the physical-properties measuring device which can measure the dielectric property of a device under test especially have been offered since before. This physical-properties measuring device was what acquires the dielectric property of a device under test by inserting a device under test in inter-electrode [ two ], mainly impressing alternating current electric field to the device under test concerned by supplying a specific AC signal to inter-electrode [ said ], and measuring change of the electrical potential difference in the AC signal, a current, or a frequency etc.

The dielectric property of a device under test can be measured also with such a physical-properties measuring device.

**(Technical problem which invention tends to solve)**

However, the above-mentioned conventional physical-properties measuring device cannot be measured if the configuration of a device under test is not large to some extent, and it has the fault that the configuration of two electrodes for measurement etc. has fixed constraint. Moreover, the above-mentioned conventional physical-properties measuring device had the fault that the configuration of the device under test itself had constraint, or excising a device under test etc. needed to be operated for it.

Even if this invention is a small device under test, without having been made in order to cancel the fault mentioned above, and adding specific actuation of a device under test, it aims at providing accuracy with the physical-properties measuring device which can measure the property of the matter.

**(The means for solving a technical problem)**

In order to attain this object, the physical-properties measuring device concerning this invention A signal generation means to generate the step pulse as an excitation signal which a device under test and complex permittivity give to the known standard substance, A detection means to carry out incidence of the excitation signal from a signal generation means to a device under test and the standard substance, and to detect the device under test and the reflected wave from the standard substance, A means to incorporate the device under test detected through the detection means, and the reflected wave from the standard substance in order of time amount progress, and to record them, According to a frequency component, he asks for a difference and the sum about the reflected wave from the standard substance and the reflected wave from a device under test which were recorded, and is trying to have a signal-processing means to ask for the complex permittivity of a device under test using the complex permittivity according to the frequency component of the standard substance recorded beforehand.

Moreover, in this invention, the detection means used for a physical-properties measuring device has

at least the probe which constituted in the plane the end face which other conductors are arranged [ end face ] as a medial axis coaxial-circles tubed, and makes one core wire contact a device under test.

Moreover, in this invention, the complex permittivity of the standard substance is close to the complex permittivity of a device under test.

(Operation)

That an echo will generally occur on the boundary of the spot and the matter if an electromagnetic wave is applied to the matter from a specific field is the phenomenon known well. Here, termination of the load is carried out to the end of the transmission line (for example, coaxial cable) formed in the bottom of a certain condition, and suppose that electromagnetic wave  $V_{\theta}(\omega)$  of angular frequency  $\omega$  was impressed from the other end of the transmission line concerned. If the characteristic impedance of said transmission line and the impedance of a load are equal at this time, even if it will make a transmission line spread electromagnetic wave  $V_{\theta}(\omega)$ , an echo does not take place in said trailer. However, since it naturally differs from the impedance of the matter which is a load, and the characteristic impedance of a transmission line when it is the matter with which a load tends to measure a dielectric property, an echo takes place in said trailer and a part of progressive wave of electromagnetic wave  $V_{\theta}(\omega)$  returns to an electromagnetic wave  $V_{\theta}(\omega)$  supply side.

Then, when the reflection coefficient  $\Gamma$  sets a reflected wave to  $r_x(\omega)$  when the echo has taken place in this way, and above-mentioned electromagnetic wave  $V_{\theta}(\omega)$  is made into an

$$\Gamma = \frac{r_x(\omega)}{V_{\theta}(\omega)} = \frac{1 - \frac{j\omega(\gamma d)}{c Z_x \cot Z_x} \dot{\epsilon}_x(\omega)}{1 + \frac{j\omega(\gamma d)}{c Z_x \cot Z_x} \dot{\epsilon}_x(\omega)} \dots (1)$$

incident wave, it is,

It is come out and given. It is here,  $Z_x = \omega d \sqrt{\dot{\epsilon}_x} / c$

It comes out, and it is and  $d$  is [ electric length and  $c$  of the geometric president of a transmission line and  $\gamma d$  ] the velocity of light.

Complex permittivity  $\epsilon_x$  of the matter are from the above-mentioned (1) formula,

$$\dot{\epsilon}_x(\omega) = \frac{c}{j\omega(\gamma d)} \cdot \frac{V_{\theta}(\omega) - r_x(\omega)}{V_{\theta}(\omega) + r_x(\omega)} \cdot Z_x \cot Z_x \dots (2)$$

It will be come out and given. Then, complex permittivity  $\epsilon_x$  of the matter can be calculated from the above-mentioned (2) formula by measuring incident wave  $V_{\theta}(\omega)$  and a reflected wave  $r_x(\omega)$ .

However, angular frequency  $\omega$  is changed actually, incident wave  $V_{\theta}(\omega)$  and a reflected wave  $r_x(\omega)$  are measured, and it is necessary to ask for frequency dependent [ of complex permittivity  $\epsilon_x$  ]. Then, this invention uses for example, a step pulse for an incident wave, i.e., an excitation signal, observes a reflected wave in a time domain, decomposes the reflected wave into a frequency component, and calculates complex permittivity  $\epsilon_x$  of the matter from the above-mentioned (2) formula.

Although this invention is calculating complex permittivity  $\epsilon_x$  by approach which was mentioned above, it supports that this changed the frequency of an incident wave continuously.

By the way, in the same measuring device, it is difficult to measure simultaneously incident wave  $V_{\theta}(\omega)$  and a reflected wave  $r_x(\omega)$ . For example, if a measuring device is constituted so that a reflected wave  $r_x(\omega)$  can be measured, measurement of incident wave  $V_{\theta}(\omega)$  will become difficult. On the contrary, if a measuring device is constituted so that incident wave  $V_{\theta}(\omega)$  can be measured, measurement of a reflected wave  $r_x(\omega)$  is difficult.

Then, complex permittivity  $\epsilon_s(\omega)$  measures the reflected wave  $r_s(\omega)$  from the standard substance using the already known standard substance. The above-mentioned (2) formula is materialized also to the standard substance. That is, complex permittivity  $\epsilon_s$  by the standard

$$\dot{\epsilon}_s(\omega) = \frac{c}{j\omega(\gamma d)} \cdot \frac{V_{\theta}(\omega) - r_s(\omega)}{V_{\theta}(\omega) + r_s(\omega)} \cdot Z_s \cot Z_s \dots (2')$$

substance ( $\omega$ ),

It is come out and given. It is here,  $Z_s = \omega d \sqrt{\epsilon_s} / c$

It comes out.

And complex permittivity  $\epsilon_x$  which will be calculated if incident wave  $V_{\theta}(\omega)$  is eliminated from a top type (2) type and the aforementioned (2') formula,

$$\epsilon_x(\omega) = \epsilon_s(\omega) \frac{1 + (c f_s) / [j \omega (\tau d) \epsilon_s(\omega)] \rho \cdot f_x}{1 + [j \omega (\tau d) \epsilon_s(\omega)] / (c f_s) \rho \cdot f_s} \dots (3)$$

$$\rho = \frac{r_s(\omega) - r_x(\omega)}{r_s(\omega) + r_x(\omega)}$$

It is here,

$f_x = Z_x \cot Z_x$  It will be given by  $f_s = Z_s \cot Z_s$ . Complex permittivity  $\epsilon_x$  can be calculated only by measuring reflected waves  $r_x$  and  $r_s(\omega)$ , without measuring incident wave  $V_{\theta}(\omega)$ , if the standard substance is used as shown also in this (3) type. Moreover, amendment of the mismatching of attenuation of an electric wave or the whole measuring device from which the above-mentioned (3) formula is transmitted in a transmission line can also be performed. In addition, it can be measured to accuracy, so that the complex permittivity  $\epsilon_s(\omega)$  of the standard substance is close to complex permittivity  $\epsilon_x(\omega)$  to calculate.

Thus, a component with difficult measurement is removed as measurement of only a reflected wave, and a step-like excitation signal is given to a device under test from a signal generation means, a reflected wave is detected with a detection means in a time domain, it decomposes into this detection signal frequency field, and this invention searches for the physical properties of a device under test from that frequency component.

(Example)

Hereafter, it explains to a detail based on the example which shows the configuration of this invention to a drawing.

One example of a physical-properties measuring device is shown in drawing 1 with a block diagram at this invention.

In this drawing, the physical-properties measuring device 1 consists of a signal generation means 2 to generate an excitation signal, a detection means 3 to detect the reflected wave of the signal from the front face of a device under test 5, and a signal-processing means 4 to process this detecting signal and to ask for the dielectric constant of a device under test 5.

Let said signal generation means 2 be circuitry which generates the excitation signal which consists for example, of a step pulse etc. -- having -- \*\*\*\* -- two excitation signals V -- it is prepared so that  $\theta$  and VB may be formed and outputted. said signal generation means 2 is electrically connected to said detection means 3 -- having -- \*\*\*\* -- said excitation signal V --  $\theta$  and VB can be supplied now to said detection means 3.

Said detection means 3 carries out incidence of excitation signal  $V_{\theta}$  from said signal generation means 2 to a device under test 5, and is considered as the configuration which can detect the reflected wave r from the device under test 5. This detection means 3 is constituted including the probe 31. Said probe 31 makes one core wire 311 a medial axis, as shown in Figs. 2 and 3, other conductors 312 are arranged coaxial-circles tubed, and the end face 313 made to contact said device under test 5 is constituted by the plane. It connects with said signal-processing means 4 electrically, and said detection means 3 can supply now the signal  $V_r$  from the reflected wave r and the predetermined trailer from a device under test 5 and the standard substance (graphic display abbreviation) to said signal-processing means 4.

Said signal-processing means 4 measures the reflected wave r from the standard substance in device-under-test 5 list in a time domain, decomposes this into a frequency component, and has the composition of asking for the physical properties of a device under test 5, especially a dielectric constant  $\epsilon_x$  according to the frequency component.

Furthermore, said signal generation means 2 is constituted so that bias power supply 21 is excited by the synchronous clock pulse from the signal-processing means 4, tunnel diode 22 may be oscillated, the step pulse of 200 [mV] may be generated in the build up time of about 25 [ps], one side may be outputted for this pulse as excitation signal  $V_{\theta}$  by dividing into two with the power divider 23 and another side can be outputted as an excitation signal VB through a directional coupler 24.

Termination of this directional coupler 24 has been carried out by the terminator 25 of 50 [ $\Omega$ ]. Said detection means 3 carries out incidence of inputted excitation signal  $V_{\theta}$  to a device under test 5 through the sampling head 32, a coaxial cable 33, and a probe 31, and the reflected wave  $r$  from a device under test 5 is given to it by the signal-processing means 4 through a probe 31, a coaxial cable 33, and the sampling head 32. Moreover, incidence of said detection means 3 is carried out to the coaxial cable 35 by which termination was carried out by resistance of 50 [ $\Omega$ ] through the excitation signal  $V_B$  and the sampling head 34 which were inputted, and the output signal  $V_{rB}$  is given to it by the signal-processing means 4.

Sampling SUKOBU 41 which gives off a synchronous clock pulse while said signal-processing means 4 samples the inputted signals (namely, the reflected wave  $r_x$  and the reflected wave  $r_s$  from the standard substance from a device under test 5)  $r$  and  $V_{rB}$ . The signal analyzer 42 which incorporates the output signal from this sampling scope 41, and analyzes a signal in digital one, incorporate and carry out the Fourier transform of the digital signal from this signal analyzer 42 through the GPIB interface 43, and the component of a time domain is used as the component of a frequency domain. The microcomputer 45 which carries out data processing of the above-mentioned (3) types from the component, and calculates complex permittivity  $\epsilon^*x$ . It consists of a printer 46 which prints the output data from this microcomputer 45, and a plotter 47 which plots the graphic data from this microcomputer 45. In addition, the sampling scope 41 and the signal analyzer 42 constitute a means to incorporate a device under test and the reflected wave from the standard substance in order of time amount progress, and to record them. Moreover, the input of the reflected wave  $r_x$  from a device under test 5 and the input of the reflected wave  $r_s$  from the standard substance may perform any first. Moreover, as the standard substance, a dielectric constant is measured by other measuring methods etc. (including frequency dependent [ of complex permittivity ]), it is desirable that it is the matter which is known and is the liquid which mainly consists of single matter, for example, an acetone, benzene, chloroform, water, etc. are mentioned, and a thing with the dielectric constant near the dielectric constant of a device under test also in it is chosen.

Thus, an operation of the constituted example is explained.

The actuation which measures the moisture content of a biological substance as a device under test 5 with the physical-properties measuring device 1 constituted as mentioned above is explained.

The biological substance contains moisture regardless of animals and plants. moreover, the inside of moisture -- the condition of water usual in more than one half -- the inside of a living body -- maintaining (free water) -- the remaining water was combined with the living body by hydrogen bond or the electrostatic interaction (bound water), and different structure from usual water is taken.

<1st example of measurement> The moisture content of human being's skin is measured there, using this physical-properties measuring device 1 as an example of measurement of the moisture of a biological substance. In addition, the acetone was used as the standard substance.

The probe 31 of the detection means 3 is made to contact inside [ forearm section ] human being. The probe 31 is carrying out the configuration shown in Figs. 2 and 3. According to the probe 31 of such a configuration, since magnitude of an electrode is made to for example, below 3 [mm], measurement ends by soft one-touch that the device under test 5 should just have the flat part of about 2 [mm]. Furthermore, measurement of various parts is possible for a coaxial cable 33 by using a flexible thing. Moreover, the dielectric information on a smaller part can be acquired by making the size of the electrode 311,312 of a probe 31 thinner.

Thus, the physical-properties measuring device 1 is operated, contacting a device under test 5 in the probe 31 of the detection means 3. Then, a synchronous clock pulse is outputted from the sampling scope 41 of the signal-processing means 4. Thereby, the bias power supply 21 which drives tunnel diode 22 carries out synchronous operation of the signal generation means 2 by the synchronous clock pulse, and tunnel diode 22 is made to oscillate it. From this tunnel diode 22, as mentioned above, the step pulse of the peak value of 200 [mV] is formed by the build up time of about 25 [ps], and this is supplied to the power device 23. This step pulse is divided into two by the power divider 23, one side is outputted as excitation signal  $V_{\theta}$ , and another side is outputted as an excitation signal  $V_B$  through a directional coupler 24.

Incidence of excitation signal  $V_{\theta}$  is carried out to the skin of human being who is a device under test 5 through the sampling head 32, a coaxial cable 33, and a probe 31. The reflected wave  $r$  from a device under test 5 is inputted into one input edge of the sampling scope 41 of the signal-processing means 4 through a probe 31, a coaxial cable 33, and the sampling head 32.

The excitation signal  $V_B$  is consumed with the coaxial cable 35 by which termination was carried out

through the sampling head 34. Some of the signals VrB serve as a small pulse, and are inputted into the input edge of another side of the sampling scope 41 of the signal-processing means 4.

The inputted reflected wave r is sampled with the sampling scope 41. Moreover, a reflected wave r is recorded with this signal analyzer 42, using the pulse measured with the sampling scope 41 as a trigger pulse TP of the signal analyzer 42. The signal digitized with said signal analyzer 42 is inputted into a microcomputer 45 through the GPIB interface 43. The reflected wave from the standard substance is detected by the same actuation, and after sampling with the sampling scope 41, a reflected wave is recorded with the signal analyzer 42. A microcomputer 45 carries out the Fourier transform of the digital signal which is each reflected wave rx and rs of the device under test and reference material which were inputted, changes it into the data of a frequency component, asks the cycle component for complex permittivity from the above-mentioned (3) types downward, and calculates a moisture content after this.

Thus, what measured frequency dependent [ of the dielectric constant human being's skin ] is the dielectric spectrum shown in drawing 4. In drawing 4, an axis of abscissa shows distributed epsilon' and absorption epsilon'' according [ an axis of ordinate ] a frequency (log f [Hz]) to moisture, respectively. Usually, water shows the peak of a spectrum to 20 [GHz] and bound water shows a peak near 100 [MHz]. By the way, a measurement result takes properties HA, HB, and HC, as shown in drawing 4, and it takes the property J based on an experimental value. It sets to drawing 4 and the absorption and distribution with which a property HA is considered to be usual water near 10GHz are observed by epsilon' and epsilon''. The magnitude of the absorbed amount shows that it is free water of the skin usual about 35%. Distribution and absorption of the conclusion water which combined the property HB with the body tissue peculiar to a living thing near 150MHz are seen. It is about 30% of the whole, and when it unites with free water, it will be called moisture on the skin of an arm. [ about 60 - 70% of ] The big absorption seen near 10MHz is effectiveness (the Wagner effectiveness) which comes from the heterogeneity (seeing with a molecular level) of the skin. This result becomes remarkable when free water increases.

Here, the important thing for the dielectric constant of the matter is the role of bound water and free water. The measurement result of the dielectric constant eight human beings' skin is shown in the 1st table. In the 1st table, the relaxation deltaepsilon1 on the appearance according [ relaxation 1 ] to the difference of the dielectric constant of the whole cell and the dielectric constant between cells is shown, and the relaxation time (log tau1 [s]) is shown. In the 1st table, the dielectric reinforcement deltaepsilon2 of bound water with which relaxation 2 is proportional to the water molecule per unit volume is shown, and the relaxation time at that time (log tau2 [s]) is shown. In the 1st table, the dielectric reinforcement deltaepsilon3 of free water is shown in relaxation 3, and the relaxation time at that time (log tau3 [s]) is shown.

	第 1 表		第 1 表		第 1 表		$\Delta \epsilon_3 / \Delta \epsilon_2$
	$\Delta \epsilon_1$	緩和 1 log $\tau_1$ (s)	$\Delta \epsilon_2$	緩和 2 log $\tau_2$ (s)	$\Delta \epsilon_3$	緩和 3 log $\tau_3$ (s)	
1 (男)	120	-8.20	23.5	-9.10	24.0	-11.00	1.02
2 (男)	89.8	-8.25	21.7	-9.07	23.3	-11.00	1.07
3 (男)	92.8	-8.32	22.3	-9.15	23.3	-11.00	1.04
4 (男)	52.9	-8.30	20.4	-9.07	21.0	-11.00	1.03
5 (男)	157	-8.17	23.4	-9.07	27.1	-10.84	1.23
6 (男)	64.0	-8.14	23.4	-9.08	20.0	-11.00	0.85
7 (女)	286	-7.99	23.7	-9.09	35.8	-10.82	1.51
8 (女)	150	-8.09	21.1	-9.09	24.5	-10.82	1.16
平均	127 ± 74		22.4 ± 1.3		24.9 ± 4.9		1.11 ± 0.19

Although the 1st table summarizes the result of eight persons' skin and is shown, bound water (deltaepsilon2) and free water (deltaepsilon3) of individual difference are small. Moreover, those ratios delta epsilon3/delta epsilon2 are almost in agreement. What investigated change of bound water (deltaepsilon2) accompanying sweating and free water (deltaepsilon3) is property drawing showing in Figs. 5 and 6. Drawing 6 shows the relation between the relaxation time after sweating (log tau [s]),

and time amount  $t$ . Drawing 5 shows the relaxation reinforcement after sweating of human being's skin with time amount. If sweat begins to appear, as shown also in  $\Delta\epsilon_3$ , free water will increase. Then, if sweating is controlled, the amount of free water will show a peak that  $\Delta\epsilon_3$  shows, and will decrease after that. The skin returns to the original condition in about 20 minutes. On the other hand, bound water does not carry out any change, either, as shown also in  $\Delta\epsilon_3$ . That is, it turns out that there is almost no change of the skin tissue by sweating.

<2nd example of measurement> The 2nd example of measurement applies a milky lotion to human being's skin, and measures the effectiveness given to the skin of the milky lotion. In addition, the acetone was used as the standard substance.

Drawing 7 shows the 1st relaxation reinforcement  $\Delta\epsilon_1$  of a milky lotion, the 2nd relaxation reinforcement  $\Delta\epsilon_2$ , and the 3rd relaxation reinforcement  $\Delta\epsilon_3$  with time amount  $t$  (min), and a property  $K$  calculates it from the measured value by the milky lotion.

As shown also in  $\Delta\epsilon_3$  in drawing 7, free water increases in number by spreading, and it decreases with time amount, and returns in about 20 minutes. On the other hand, the subsequent phenomenon is loose, although it increases rapidly with spreading as bound water shown in  $\Delta\epsilon_2$  of drawing 7. Moreover, it is clear that bound water's it increases about 50% and there is a moisturizing effect. It turns out that the effectiveness carries out rear-spring-supporter continuation at long duration.

<3rd measurement> The 3rd measurement applies ointment to human being's skin, and measures the effectiveness given to the skin of the ointment. In addition, the acetone was used as the standard substance.

Drawing 7 shows the 1st relaxation time  $\Delta\epsilon_1$  of ointment, the 2nd relaxation time  $\Delta\epsilon_2$ , and the 3rd relaxation time  $\Delta\epsilon_3$ , and a property  $L$  calculates it from the measured value by ointment.

As for specially made [ of drawing 7 /  $L$  ], the 2nd relaxation ( $\Delta\epsilon_2$ ) and the 3rd relaxation ( $\Delta\epsilon_3$ ) are not changing, either. This means that there is no change in bound water and free water. Although some change is looked at by the 1st relaxation ( $\Delta\epsilon_1$ ), there is little change as compared with a milky lotion (property  $K$ ). Such a property is seen because ointment has protected the skin.

<4th measurement> The 4th measurement measures the freshness of food (meat, a fish, vegetables, etc.), the effectiveness of refrigeration, etc. by using this invention equipment which can measure bound water of a biological substance, and free water quantitatively. In addition, the acetone was used as the standard substance.

For example, the result of having measured the chicken (SASAMI) with the physical-properties measuring device 1 concerned is shown in the 2nd table, and the result of having measured vegetables (ginseng radix) with the physical-properties measuring device 1 concerned is shown in the 3rd table.

As for the 2nd table and the 3rd table, the dielectric reinforcement  $\Delta\epsilon_1$ ,  $\Delta\epsilon_2$ , and  $\Delta\epsilon_3$  and the relaxation times  $\tau_1$ ,  $\tau_2$ , and  $\tau_3$  in the 1st relaxation, the 2nd relaxation, and the 3rd relaxation are found according to "raw", "refrigeration", "it boiling", and the condition of saying, "It burns."

	第 2 表					
	緩和 1		緩和 2		緩和 3	
	$\Delta\epsilon_1$	$\log \tau_1(s)$	$\Delta\epsilon_2$	$\log \tau_2(s)$	$\Delta\epsilon_3$	$\log \tau_3(s)$
生	50.7	-8.16	16.2	-9.31	46.1	-10.89
冷凍	52.7	-8.09	18.0	-9.21	58.9	-11.89
煮る	52.1	-8.21	17.7	-9.17	28.8	-11.89
焼く	67.3	-8.18	21.1	-9.16	38.8	-11.85

	第 3 表					
	緩和 1		緩和 2		緩和 3	
	$\Delta \varepsilon_1$	$\log \tau_1(s)$	$\Delta \varepsilon_2$	$\log \tau_2(s)$	$\Delta \varepsilon_3$	$\log \tau_3(s)$
生	642	-7.62	10.3	-9.13	47.4	-10.92
冷凍	58.3	-8.03	4.6	-9.13	53.7	-11.80
煮る	29.4	-8.61	1.9	-9.13	63.4	-11.87
焼く	56.7	-8.01	17.5	-9.20	49.4	-11.56

#### [Example(s) of Application]

The application to various kinds of fields is possible for this invention equipment. An applicable field is explained below.

##### (Electronics)

In space communication, the high frequency of 10-50GHz is already used. Generally electronics and a communication circuit can also use this invention easily [ the dielectric constant in a GHz band, or measurement of dielectric loss ]. It excels in measurement of the dielectric power factor of fine ceramics, a macromolecule insulating material, the substrate for circuits, etc., etc. Moreover, it is suitable the function of a liquid crystal ingredient or to apply this invention to fundamental and molecular theory-research.

##### (Chemical industry)

This method is very effective in moisture detection. Therefore, it is effective in moisture content measurement of the matter with which residual moisture poses a problem. Application in these fields, such as a coating and an emulsion, can be considered.

##### (Food)

The freshness of the matter etc. understands food by getting to know the content of free water or bound water. Although it is about the effectiveness of refrigeration which followed, for example, was shown in the 2nd table, in the case of the muscles of an animal, it turns out that free water (usual water) of what was thawed is increasing rather than the object before refrigeration. It is the so-called diluted reason. If refrigeration is repeated, free water will increase in number further. With vegetables, by freezing once, free water increases in number and bound water decreases in number. The vegetables can say that the effectiveness of refrigeration is far strong rather than an animal. Moreover, it turns out that a difference arises in change of free water and bound water by the approach of cooking also about the cooked food. The effectiveness looks in sight in a bird, and the effectiveness looks remarkable to free water by the ginseng radix at bound water. The reinforcement of the 1st relaxation by the raw fresh ginseng radix is very large, and decreasing remarkably with refrigeration or cooking also needs to be careful.

It is thought that the food of this system and the application in a health side are very large.

##### (A chemical, cosmetics)

The effectiveness of cosmetics attracts attention only about human being's skin. Human being's skin as well as a general biological substance has bound water and free water. It hardly depends for the dielectric reinforcement by bound water on people by about 22. However, free water changes with 20-28 (30 - 40% of the whole moisture), and men. There are a watery person and few men. When cosmetics are applied, the bigger change to free water than bound water appears. This change is called for as a function of the time amount after spreading. For example, in the case of a milky lotion, free water doubles [ about ] immediately after spreading, but it returns after about 30 minutes. Bound water increases 50% and decreases in number gradually. The moisturizing effect can be planned from bound water.

About the chemical applied to the skin also especially by the effectiveness of a chemical, measurement can do the effectiveness by same measurement.

##### (Medicine)

About skin disease especially a trauma, a burn, etc., this system can be used about the effectiveness of the medical checkup and a chemical. It is expected that change of bound water and free water follows on change of the cellular structure of the skin surely.

Moreover, if based on the configuration of a sensor, inner dielectric information is acquired about 2-3mm from a skin front face. Especially the frequency of microwave heating effective in the abnormality apoptosis which appeared in the skin or the bottom of it can be chosen by using this.



Changing with people is expected and this frequency is considered for this selection to be very important. The microwave using this frequency is made to send furthermore, and a curative effect is promoted by heating only an abnormal cell. Doubling the effectiveness is expected by unifying a measuring electrode and a microwave oscillator.

The small electrode section attached in the point of a flexible thin electric wire can be given to an esophagus or the stomach with a fiberscope, and being also useful to the therapy of a stomach gun, an esophagus gun, etc. is expected.

(Sport)

If it sweats, change will not be seen by bound water although the free water of people's skin increases twice [ about ]. After sweating returns to the original condition in about 20 minutes. This sensor is effective in research of control of the motor function by quantification and sweating control of sweating etc.

(in addition to this)

It is effective also in the measurement of engineering works, building materials, etc. which becomes important [ other than the above-mentioned application / content moisture ].

Thus, this invention can consider the application to various fields.

In addition, in the range which is not limited to this although it is an example of suitable operation, and does not deviate from the summary of this invention, deformation implementation is variously possible for an above-mentioned example. For example, PUROGU 31 used by this example may be a different configuration although the field which contacts to a device under test 5 is a plane. In this case, it is necessary to amend the reflective component about the part which does not contact directly. Moreover, although it is suitable in shortening of the measuring time since the activity of a step pulse can cover a large frequency band by one pulse as an excitation signal, it is also possible for it not to be limited to this and to use other electromagnetic waves like a sine wave. However, since the signal for every frequency must be inputted in this case, there is a problem which requires time amount. Moreover, it is not limited to a square wave as a pulse, but a thing like a sawtooth wave or a chopping sea can also use various distorted sine waves, such as a trapezoidal wave, a half wave or a full-wave-rectification wave, and a rectangle pulse.

(Effect of the invention)

Since it gives an excitation signal to a device under test and the standard substance, changes those reflected waves into a frequency domain and measured the physical properties of a device under test by the frequency component, only reflected wave measurement of a device under test and the standard substance is sufficient for this invention, without coincidence measurement measuring a difficult incident wave, and it can acquire physical properties, without measurement adding actuation easily special to a device under test, so that more clearly than the above explanation.

Moreover, since it can measure only by applying a detection means to a device under test according to this invention, there are few device under tests and it ends, and from the frequency component of the reflected wave to an excitation signal, since measurement of physical properties can be performed, measurement can be completed easily.

---

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

---

**DESCRIPTION OF DRAWINGS**

---

**[Brief Description of the Drawings]**

The block diagram showing [ 1 ] the example of this invention, drawing of longitudinal section of the probe which uses drawing 2 in the example of this invention, The wave form chart showing the situation [ as opposed to / as opposed to / in drawing 3 / the front view of this probe / a frequency in drawing 4 ] of distributed absorption, The wave form chart showing the dependency of time amount [ as opposed to the relaxation reinforcement of the skin in drawing 5 ], the wave form chart showing [ 6 ] the time dependency of the relaxation time after sweating, and drawing 7 are wave form charts showing the dependency of the time amount over the relaxation reinforcement of meat and vegetables.

1 .... A physical-properties measuring device, 2 .. Signal generation means,

3 .... A detection means, 4 .. A signal-processing means, 5 .. Device under test.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JP0 and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

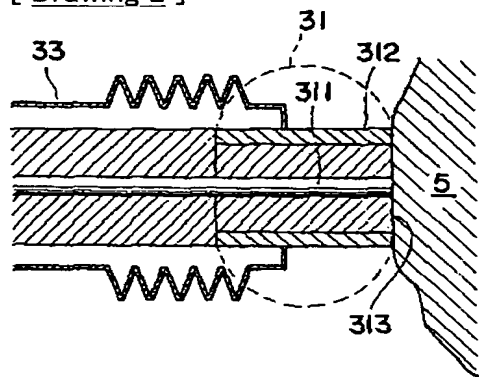
- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

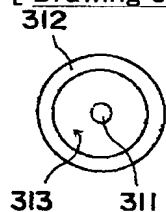
DRAWINGS

---

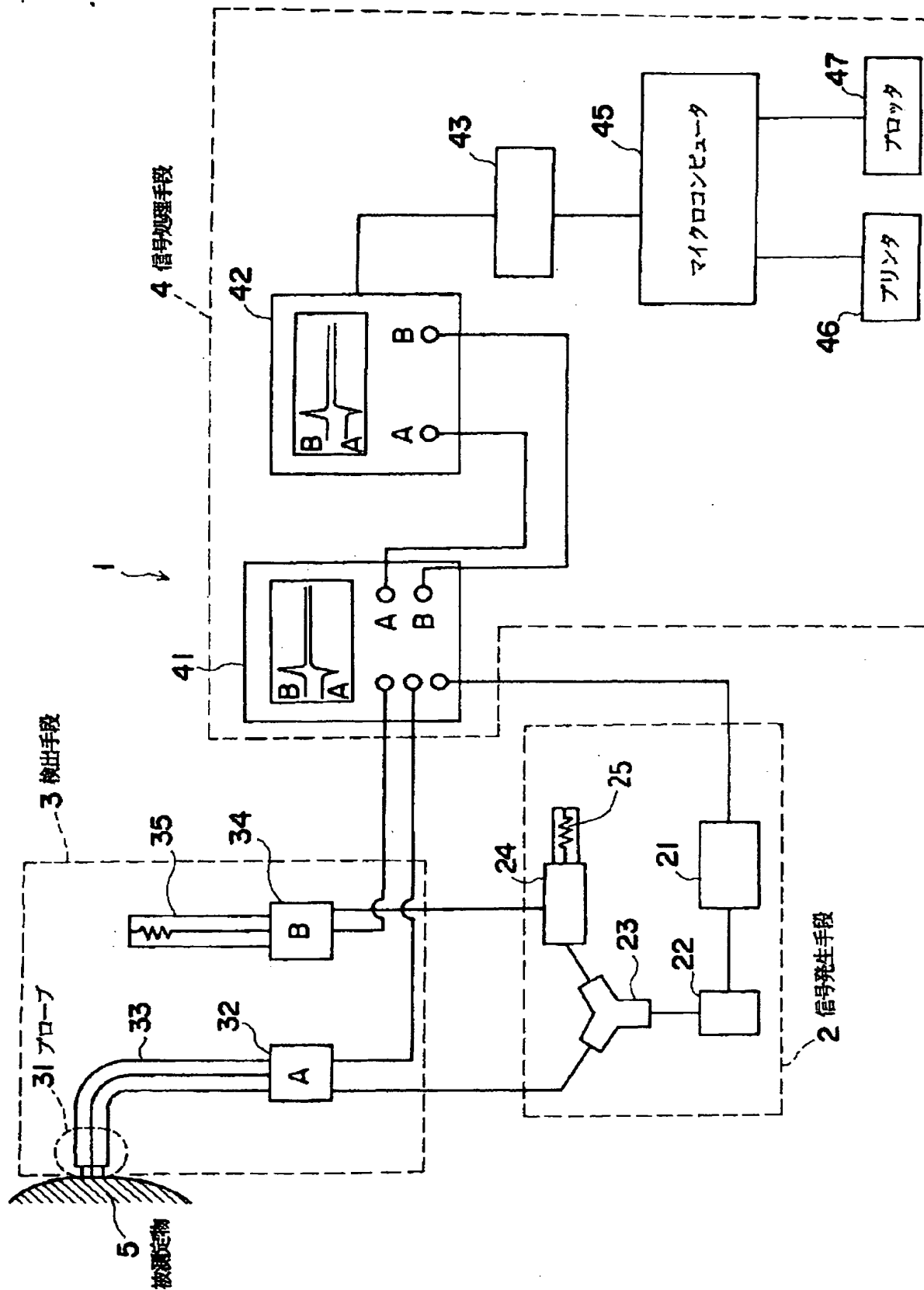
[ Drawing 2 ]



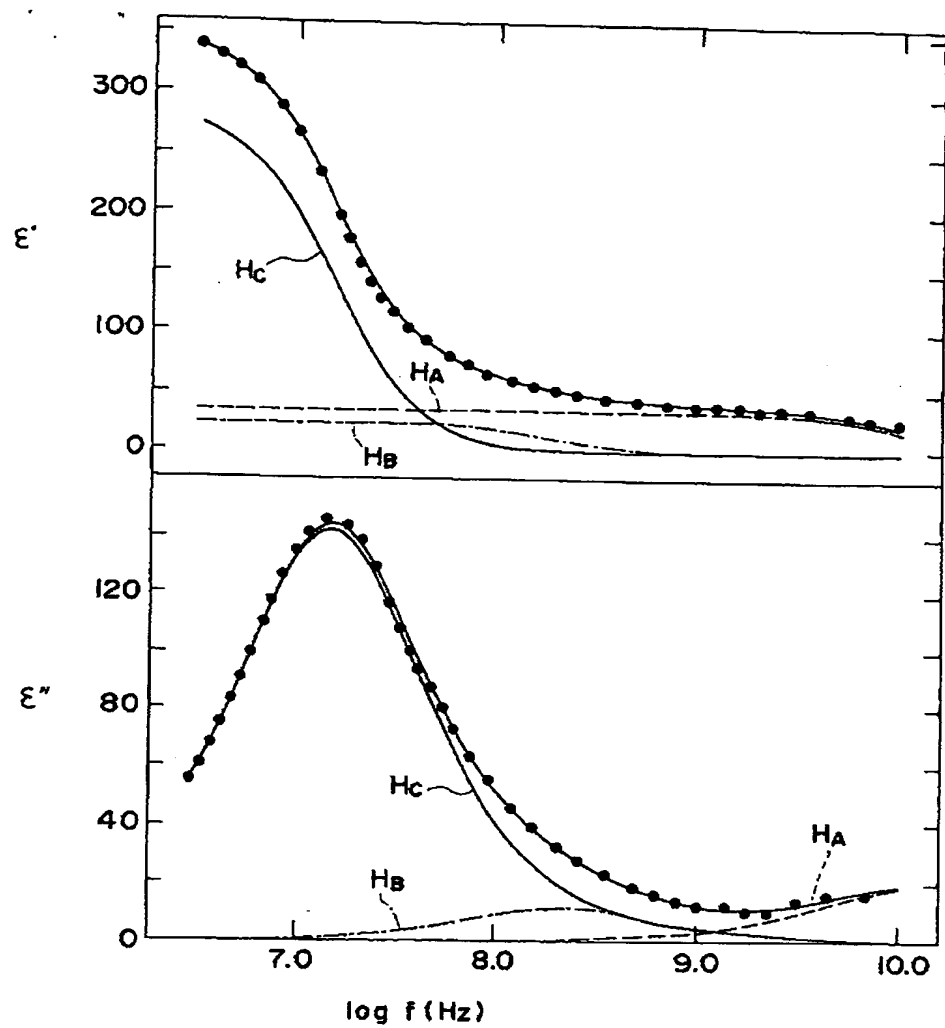
[ Drawing 3 ]



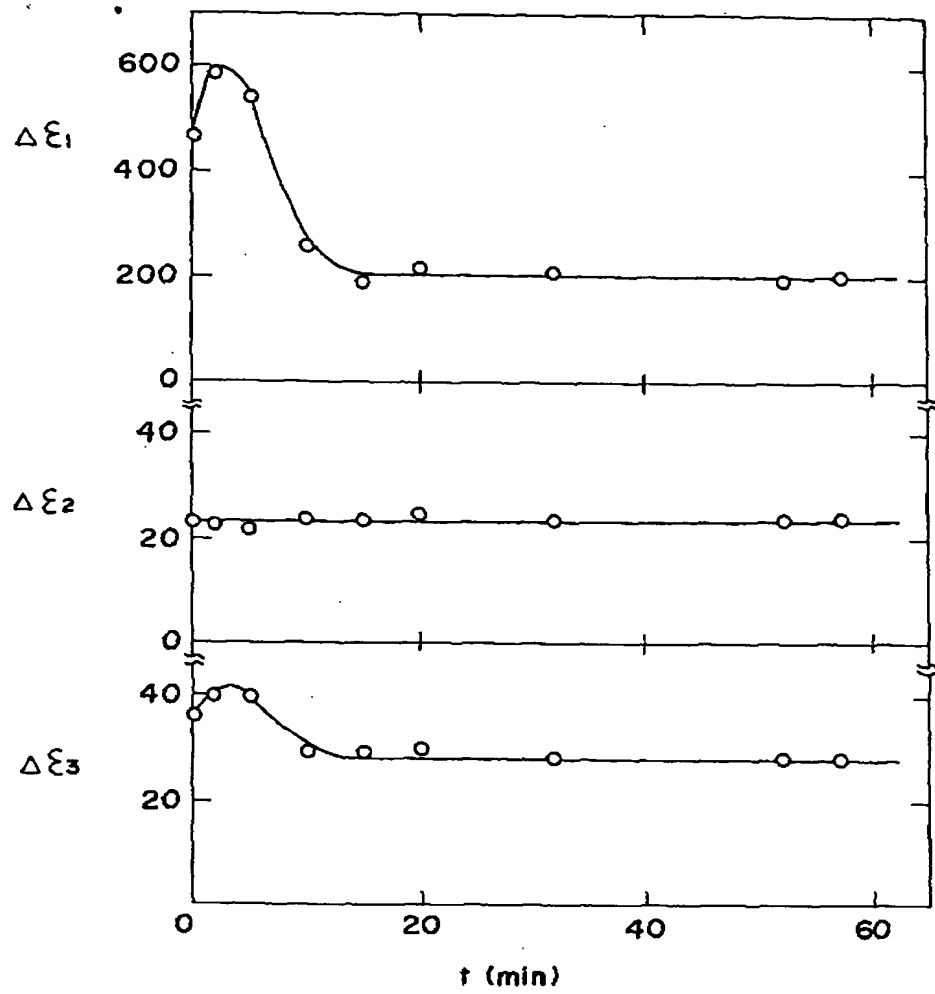
[ Drawing 1 ]



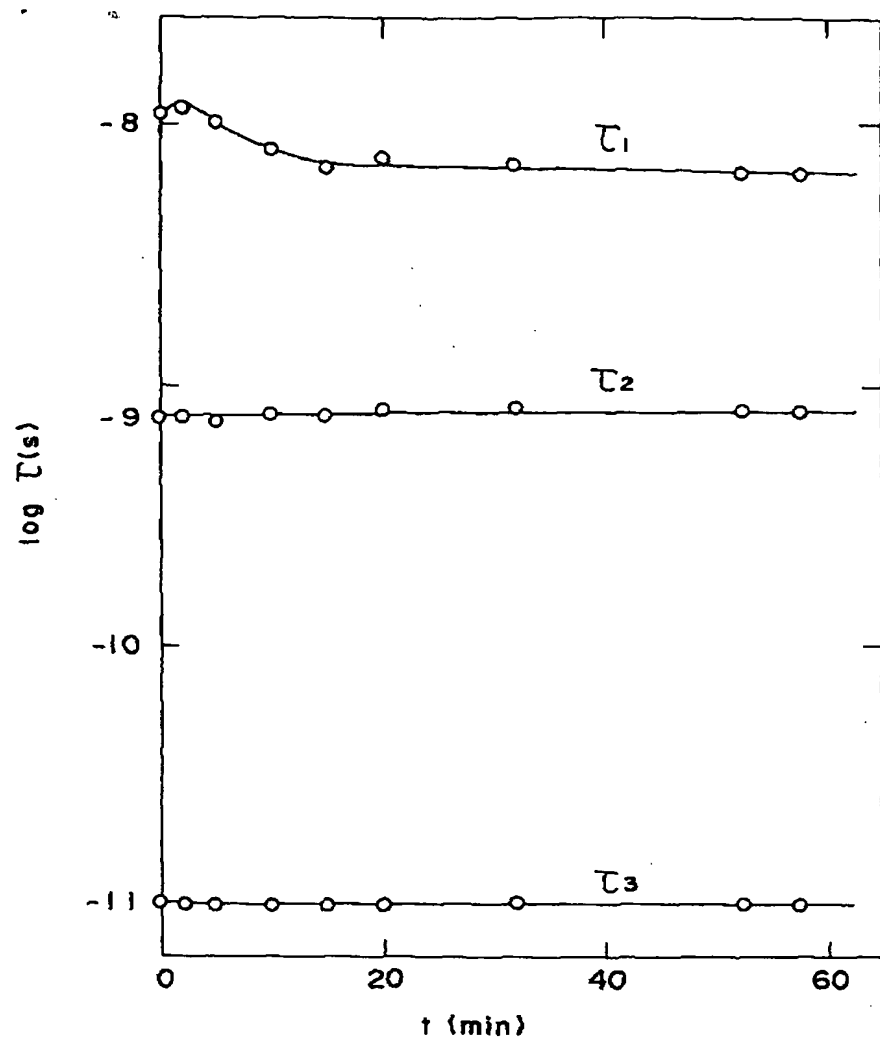
[ Drawing 4 ]



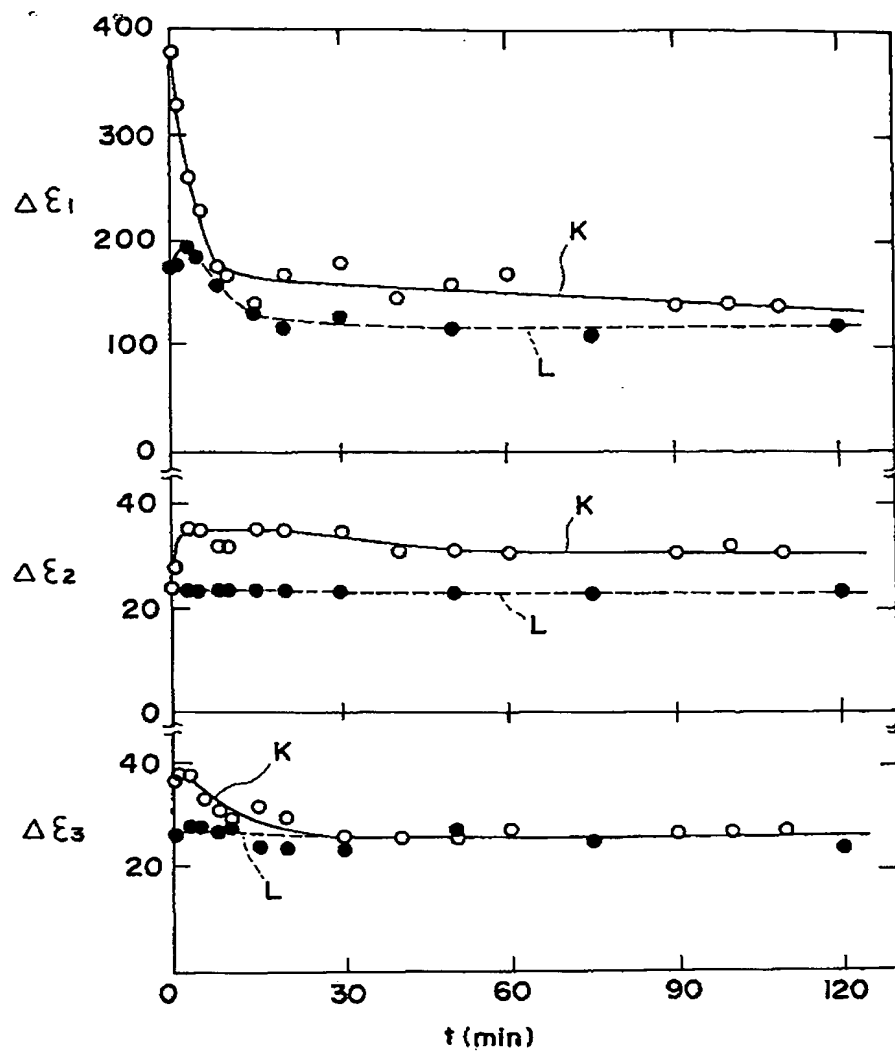
[ Drawing 5 ]



[ Drawing 6 ]



[ Drawing 7 ]



[Translation done.]



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11) 特許番号

第2740528号

(45) 発行日 平成10年(1998) 4月15日

(24) 登録日 平成10年(1998) 1月23日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

G 0 1 N 22/04

G 0 1 N 22/04

Z

A 6 1 B 5/00

A 6 1 B 5/00

M

G 0 1 N 22/00

G 0 1 N 22/00

S

V

請求項の数 3 (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願昭63-262920

(22) 出願日 昭和63年(1988) 10月20日

(65) 公開番号 特開平2-110357

(43) 公開日 平成2年(1990) 4月23日

審査請求日 平成7年(1995) 8月21日

(73) 特許権者 999999999

学校法人東海大学

東京都渋谷区富ヶ谷 2丁目28番4号

(72) 発明者 真下 悟

神奈川県鎌倉市岡本1241-4 A-608

(74) 代理人 弁理士 村瀬 一美

審査官 鈴木 俊光

(56) 参考文献 特開 昭60-63039 (J P, A)

特開 昭61-82182 (J P, A)

特開 昭61-17051 (J P, A)

特開 昭59-188547 (J P, A)

(54) 【発明の名称】 物性測定装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】 被測定物及び複素誘電率が既知の標準物質とに与える励起信号としてのステップパルスを発生する信号発生手段と、前記信号発生手段からの励起信号を被測定物及び標準物質に入射し、その被測定物及び標準物質からの反射波を検出する検出手段と、前記検出手段を介して検出した前記被測定物及び標準物質からの反射波を時間経過順に取り込み記録する手段と、前記記録された前記標準物質からの反射波と前記被測定物からの反射波とについて周波数成分に応じて差と和を求め、予め記録された前記標準物質の周波数成分に応じた複素誘電率を用いて被測定物の複素誘電率を求める信号処理手段とを備えたことを特徴とする物性測定装置。

【請求項2】 前記検出手段は、一つの心線を中心軸として同軸円筒状に他の導体を配置し、被測定物に当接させ

る端面を平面状に構成したプローブを含んでなることを特徴とする請求項1記載の物性測定装置。

【請求項3】 前記標準物質はその複素誘電率が被測定物の複素誘電率に近いものであることを特徴とする請求項1または2記載の物性測定装置。

【発明の詳細な説明】

(産業上の利用分野)

本発明は、被測定物の物性を測定できる装置に関し、特に被測定物に励起信号を与え、その被測定物からの反射波を周波数成分に分解し、当該周波数成分から被測定物の物性を得る物性測定装置に関する。

(従来技術)

従来、この種の物性測定装置は、被測定物の性質を測定できる装置として知られている。このような物性測定装置であって、被測定物の電気的性質、殊に被測定物の

3

誘電的性質を測定できる物性測定装置は、以前から提供されてきた。かかる物性測定装置は、主として、二つの電極間に被測定物を挿入し、特定の交流信号を前記電極間に供給することにより当該被測定物に交流電場を印加し、その交流信号における電圧、電流あるいは周波数の変化等を測定することにより、被測定物の誘電的性質を得るものであった。

このような物性測定装置によっても被測定物の誘電的性質を測定することはできる。

(発明が解決しようとする課題)

しかしながら、上記従来の物性測定装置は、被測定物の形状がある程度大きくなければ測定することができず、また測定のための二つの電極の形状等も一定の制約があるという欠点がある。また、上記従来の物性測定装置は、被測定物そのものの形状に制約があったり、被測定物を切除する等の操作が必要であったりするという欠点があった。

本発明は、上述した欠点を解消するためになされたもので、被測定物の特定の操作を加えることなく、かつ小さな被測定物であっても、正確に物質の性質を測定することのできる物性測定装置を提供することを目的とする。

(課題を解決するための手段)

かかる目的を達成するため、本発明にかかる物性測定装置は、被測定物及び複素誘電率が既知の標準物質とに与える励起信号としてのステップパルスを発生する信号発生手段と、信号発生手段からの励起信号を被測定物及び標準物質に入射し、その被測定物及び標準物質からの反射波を検出する検出手段と、検出手段を介して検出した被測定物及び標準物質からの反射波を時間経過順に取

4

り込み記録する手段と、記録された標準物質からの反射波と被測定物からの反射波とについて周波数成分に応じて差と和とを求め、予め記録された標準物質の周波数成分に応じた複素誘電率を用いて被測定物の複素誘電率を求める信号処理手段とを備えるようにしている。

また、本発明において、物性測定装置に使用される検出手段は、一つの心線を中心軸として同軸円筒状に他の導体を配置し、被測定物に当接させる端面を平面状に構成したプローブを少なくとも有している。

10 また、本発明において、標準物質はその複素誘電率が被測定物の複素誘電率に近いものである。

(作用)

一般に、電磁波を特定の場から物質に当てると、その場と物質との境界において反射が起きることは、よく知られた現象である。ここで、一定の条件下に形成された伝送路(例えば、同軸ケーブル)の一端に負荷を終端し、当該伝送路の他端から角振動数 $\omega$ の電磁波 $V\theta$

( $\omega$ )を印加したとする。このとき、前記伝送路の特性インピーダンスと、負荷のインピーダンスとが等しければ、伝送路に電磁波 $V\theta(\omega)$ を伝播させたとしても、前記終端部において反射は起こらない。しかしながら、負荷が誘電的性質を測定しようとするような物質であるときには、当然、負荷である物質のインピーダンスと、伝送路の特性インピーダンスとは異なってくるので、電磁波 $V\theta(\omega)$ は前記終端部において反射が起こり、進行波の一部が電磁波 $V\theta(\omega)$ 供給側に戻ってくる。

そこで、このように反射が起こっているときにその反射係数 $\Gamma$ は、反射波を $r_x(\omega)$ とし、上記電磁波 $V\theta(\omega)$ を入射波とすると、

$$\Gamma = \frac{r_x(\omega)}{V\theta(\omega)} = \frac{1 - \frac{j\omega(\gamma d)}{c Z_x \cot Z_x} \dot{E}_x(\omega)}{1 + \frac{j\omega(\gamma d)}{c Z_x \cot Z_x} \dot{E}_x(\omega)} \dots (1)$$

で与えられる。ここで、

$$Z_x = \omega d \sqrt{\dot{E}_x} / c$$

※であり、 $d$ は伝送路の幾何学長、 $\gamma d$ は電気長、 $c$ は光速である。

$$\dot{E}_x(\omega) = \frac{c}{j\omega(\gamma d)} \cdot \frac{V\theta(\omega) - r_x(\omega)}{V\theta(\omega) + r_x(\omega)} \cdot Z_x \cot Z_x \dots (2)$$

で与えられることになる。そこで、入射波 $V\theta(\omega)$ および反射波 $r_x(\omega)$ を測定することにより、上記(2)式から物質の複素誘電率 $\dot{E}_x$ を求めることができる。

しかしながら、実際には角周波数 $\omega$ を変えて、入射波 $V\theta(\omega)$ および反射波 $r_x(\omega)$ を測定し、複素誘電率 $\dot{E}_x$ の周波数依存性を求めることが必要になる。そこで、本発明は、入射波すなわち励起信号に例えばステップパルスを用い、反射波を時間領域で観測し、その反射波を周波数成分に分解し、上記(2)式から物質の複素

誘電率 $\dot{E}_x$ を求めるようにしたものである。

本発明は、上述したような方法により複素誘電率 $\dot{E}_x$ を求めているが、これは入射波の周波数を連続的に変化させたことに対応している。

ところで、同一測定装置において、入射波 $V\theta(\omega)$ と反射波 $r_x(\omega)$ とを同時に測定することは困難である。例えば、反射波 $r_x(\omega)$ を測定できるように測定装置を構成すれば、入射波 $V\theta(\omega)$ の測定が困難となる。逆に、入射波 $V\theta(\omega)$ を測定できるように測定装

5

置を構成すれば、反射波 $r_x(\omega)$ の測定が困難である。

そこで、複素誘電率 $\epsilon_s(\omega)$ が既にわかっている標準物質を用い、その標準物質からの反射波 $r_s(\omega)$ の測\*

$$\epsilon_s(\omega) = \frac{c}{j\omega(\tau d)} \cdot \frac{V_\theta(\omega) - r_s(\omega)}{V_\theta(\omega) + r_s(\omega)} \cdot Z_s \cot Z_s \quad \dots (2')$$

で与えられる。ここで、

$$Z_s = \omega d \sqrt{\epsilon_s} / c$$

である。

$$\epsilon_x(\omega) = \epsilon_s(\omega) \frac{1 + (cf_s) / [j\omega(\tau d)\epsilon_s(\omega)] \rho \cdot \frac{f_x}{f_s}}{1 + [j\omega(\tau d)\epsilon_s(\omega)] / (cf_s) \rho \cdot \frac{f_x}{f_s}} \quad \dots (3)$$

ここで、

$$\rho = \frac{r_s(\omega) - r_x(\omega)}{r_s(\omega) + r_x(\omega)},$$

$$f_x = Z_x \cot Z_x,$$

$$f_s = Z_s \cot Z_s$$

で与えられることになる。この(3)式からもわかるように、標準物質を用いれば、入射波 $V_\theta(\omega)$ を測定することなく、反射波 $r_x$ 、 $r_s(\omega)$ を測定するだけで、複素誘電率 $\epsilon_x$ を求めることができる。また、上記(3)式は、伝送路を伝わる電波の減衰や測定装置全体の不整合の補正もできることになる。なお、標準物質はその複素誘電率 $\epsilon_s(\omega)$ が、求める複素誘電率 $\epsilon_x(\omega)$ に近いほど正確に測定できることになる。

このように本発明は、反射波のみの測定として、測定困難な成分を除去し、かつ信号発生手段からステップ状の励起信号を被測定物に与えて時間領域で反射波を検出手段をもって検出し、この検出信号周波数領域に分解し、その周波数成分から被測定物の物性を求めるものである。

(実施例)

以下、本発明の構成を図面に示す実施例に基づいて詳細に説明する。

第1図に本発明に物性測定装置の一実施例をブロック図で示す。

該図において、物性測定装置1は、励起信号を発生させる信号発生手段2と、被測定物5の表面からの信号の反射波を検出する検出手段3と、この検出信号を処理して被測定物5の誘電率を求める信号処理手段4とから構成されている。

前記信号発生手段2は、例えばステップパルス等からなる励起信号を発生する回路構成とされており、二つの励起信号 $V_\theta$ 、 $V_B$ を形成して出力するように設けられている。前記信号発生手段2は前記検出手段3に電氣的に接続されており、前記励起信号 $V_\theta$ 、 $V_B$ を前記検出手段3に供給できるようになっている。

前記検出手段3は、前記信号発生手段2からの励起信

6

\*定を行う。標準物質に対しても上記(2)式は成立する。つまり、標準物質による複素誘電率 $\epsilon_s(\omega)$ は、

※そして、入射波 $V_\theta(\omega)$ を上式(2)式と前記(2')式とから消去すると、求める複素誘電率 $\epsilon_x$ は、

号 $V_\theta$ を被測定物5に入射し、その被測定物5からの反射波 $r$ を検出できる構成とされている。この検出手段3は、プローブ31を含んで構成されている。前記プローブ31は、第2図および第3図に示すように、一つの心線311を中心軸として同軸円筒状に他の導体312が配置され、前記被測定物5に当接させる端面313が平面状に構成されている。前記検出手段3は前記信号処理手段4に電氣的に接続されており、被測定物5及び標準物質(図示省略)からの反射波 $r$ および所定の終端部からの信号 $VrB$ を前記信号処理手段4に供給できるようになっている。

前記信号処理手段4は、被測定物5並びに標準物質からの反射波 $r$ を時間領域で測定し、これを周波数成分に分解し、その周波数成分に応じて被測定物5の物性、特に誘電率 $\epsilon_x$ を求める構成となっている。

更に、前記信号発生手段2は、信号処理手段4からの同期クロックパルスでバイアス電源21を励振させて、トンネルダイオード22を発振させて約25 [ps]の立ち上がり時間で200 [mV]のステップパルスを発生し、このパルスをパワーデバイダ23により二つに分け、一方を励起信号 $V_\theta$ として出力し、他方を方向性結合器24を通して励起信号 $V_B$ として出力できるように構成されている。この方向性結合器24は、例えば50 [Ω]の終端抵抗25で終端してある。

前記検出手段3は、入力された励起信号 $V_\theta$ をサンプリングヘッド32、同軸ケーブル33、プローブ31を介して被測定物5に入射し、被測定物5からの反射波 $r$ をプローブ31、同軸ケーブル33、サンプリングヘッド32を介して信号処理手段4に与えられるようになっている。また、前記検出手段3は、入力された励起信号 $V_B$ やサンプリングヘッド34を介して例えば50 [Ω]の抵抗で終端された同軸ケーブル35に入射し、その出力信号 $VrB$ を信号処理手段4に与えられるようになっている。

前記信号処理手段4は、入力された信号(即ち被測定物5からの反射波 $r_x$ と標準物質からの反射波 $r_s$ ) $r$ 、 $VrB$ をサンプリングすると共に同期クロックパルスを出すサンプリグスコープ41と、このサンプリグスコープ41からの出力信号を取り込み、デジタル的に信号を分析す

7

るシグナルアナライザ42と、このシグナルアナライザ42からのデジタル信号をGPIBインターフェース43を介して取り込み、フーリエ変換して時間領域の成分を周波数領域の成分にして、その成分から前述の(3)式を演算処理して複素誘電率 $\epsilon_x$ を求めるマイクロコンピュータ45と、このマイクロコンピュータ45からの出力データを印字するプリンタ46と、同マイクロコンピュータ45からの図形データを作図するプロッタ47とから構成されている。尚、サンプリングスコープ41とシグナルアナライザ42とは、被測定物及び標準物質からの反射波を時間経過順に取り込み記録する手段を構成している。また、被測定物5からの反射波 $r_x$ の入力と標準物質からの反射波 $r_s$ の入力とはいずれを先に行っても構わない。また、標準物質としては、他の測定法等で誘電率が測定され(複素誘電率の周波数依存性を含めて)既知である物質であり、主に単一の物質からなる液体であることが好ましく、例えばアセトン、ベンゼン、クロロホルム、水などが挙げられ、その中でも被測定物の誘電率に近い誘電率を持つものが選択される。

このように構成された実施例の作用を説明する。

上述のように構成された物性測定装置1により被測定物5として生体物質の水分量を測定する動作について説明する。

生体物質は動植物を問わず水分を含んでいる。また、水分のうち半分以上は通常の水の状態を生体中でも保つ(自由水)が、残りの水は水素結合や静電的相互作用により生体に結合し(結合水)、通常の水とは異なる構造をとっている。

<第1の測定例>

そこで、生体物質の水分の測定例として人間の皮膚の水分量を本物性測定装置1を用いて測定する。尚、標準物質としてはアセトンを用いた。

検出手段3のプロープ31を人間の前腕部内側に当接させる。プロープ31は、第2図および第3図に示す形状をしている。このような形状のプロープ31によれば、電極の大きさを例えば3[mm]以下にできるので、被測定物5は約2[mm]の平坦な部分を持っていればよく、測定はソフトなワンタッチですむ。さらに、同軸ケーブル33はフレキシブルなものを用いることによって、いろいろな部分の測定が可能である。また、プロープ31の電極311,312の太さをより細くすることにより、より小さな部分の誘電情報を得ることができる。

このように検出手段3のプロープ31を被測定物5に当接したままで、物性測定装置1を動作させる。すると、信号処理手段4のサンプリングスコープ41から同期クロックパルスが出力される。これにより、信号発生手段2は、トンネルダイオード22を駆動するバイアス電源21が同期クロックパルスにより同期動作して、トンネルダイオード22に発振させる。このトンネルダイオード22からは、前述したように例えば約25[ps]の立ち上がり時間

8

で200[mV]の波高値のステップパルスを形成し、これをパワーデバイス23に供給する。このステップパルスは、パワーデバイス23により二つに分割されて、一方が励起信号V $\theta$ として出力され、他方が方向性結合器24を介して励起信号VBとして出力される。

励起信号V $\theta$ はサンプリングヘッド32、同軸ケーブル33、プロープ31を介して被測定物5である人間の皮膚に入射される。被測定物5からの反射波 $r$ はプロープ31、同軸ケーブル33、サンプリングヘッド32を介して信号処理手段4のサンプリングスコープ41の一方の入力端に入力される。

励起信号VBは、サンプリングヘッド34を介して終端された同軸ケーブル35で消費される。その一部の信号VrBは、小さなパルスとなって信号処理手段4のサンプリングスコープ41の他方の入力端に入力される。

サンプリングスコープ41では入力された反射波 $r$ 等をサンプリングする。また、サンプリングスコープ41で測定したパルスをシグナルアナライザ42のトリガパルスTPとして用い、このシグナルアナライザ42で反射波 $r$ を記録する。前記シグナルアナライザ42でデジタル化された信号はGPIBインターフェース43を介してマイクロコンピュータ45に入力される。同様の操作で、標準物質からの反射波を検出し、サンプリングスコープ41でサンプリングしてからシグナルアナライザ42で反射波を記録する。マイクロコンピュータ45は、入力した被測定物と標準物質のそれぞれの反射波 $r_x, r_s$ であるデジタル信号をフーリエ変換して周波数成分のデータに変換し、その周波数成分を下に複素誘電率を前述の(3)式から求め、これから水分量を求める。

このようにして人間の皮膚の誘電率の周波数依存性を測定したものが、第4図に示す誘電スペクトルである。第4図において横軸は周波数(log f [Hz])を、縦軸は水分による分散 $\epsilon'$ と吸収 $\epsilon''$ をそれぞれ示す。通常、水は20[GHz]にスペクトルのピークを示し、結合水は100[MHz]付近にピークを示す。ところで、測定結果は、第4図に示すように特性HA, HB, HCをとり、かつ実験値に基づく特性Jをとる。第4図において、特性HAは10GHz付近の通常の水と思われる吸収・分散が $\epsilon'$ および $\epsilon''$ に観測される。その吸収量の大きさから、皮膚の約35%が通常の水であることがわかる。特性HBは150MHz付近に生物特有の生体組織と結合した結語水の分散・吸収がみられる。それは全体の約30%であり自由水とあわせると腕の皮膚では約60~70%が水分ということになる。10MHz付近でみられる大きな吸収は、皮膚の不均一性(分子レベルで見て)からくる効果(ワーグナー効果)である。この結果は自由水が増加することにより顕著になる。

ここで、物質の誘電率にとって重要なことは、結合水と自由水の役割である。第1表には人間8名の皮膚の誘電率の測定結果が示されている。第1表において、緩和

9

10

1は細胞全体の誘電率と細胞間の誘電率との差による見かけ上の緩和 $\Delta\epsilon_1$ が示されており、かつ緩和時間( $\log \tau_1$  [s])が示されている。第1表において、緩和2は単位体積当りの水分子に比例した結合水の誘電強度\*

\* $\Delta\epsilon_2$ が示されており、かつそのときの緩和時間( $\log \tau_2$  [s])が示されている。第1表において、緩和3には自由水の誘電強度 $\Delta\epsilon_3$ が示されており、かつそのときの緩和時間( $\log \tau_3$  [s])が示されている。

第1表

	緩和1		緩和2		緩和3		$\Delta\epsilon_3/\Delta\epsilon_2$
	$\Delta\epsilon_1$	$\log \tau_1$ (s)	$\Delta\epsilon_2$	$\log \tau_2$ (s)	$\Delta\epsilon_3$	$\log \tau_3$ (s)	
1(男)	120	-8.20	23.5	-9.10	24.0	-11.00	1.02
2(男)	89.8	-8.25	21.7	-9.07	23.3	-11.00	1.07
3(男)	92.8	-8.32	22.3	-9.15	23.3	-11.00	1.04
4(男)	52.9	-8.30	20.4	-9.07	21.0	-11.00	1.03
5(男)	157	-8.17	23.4	-9.07	27.1	-10.84	1.23
6(男)	64.0	-8.14	23.4	-9.08	20.0	-11.00	0.85
7(女)	286	-7.99	23.7	-9.09	35.8	-10.82	1.51
8(女)	150	-8.09	21.1	-9.09	24.5	-10.82	1.16
平均	127 $\pm$ 74		22.4 $\pm$ 1.3		24.9 $\pm$ 4.9		1.11 $\pm$ 0.19

第1表は8名の皮膚の結果をまとめて示してあるが、結合水( $\Delta\epsilon_2$ )、自由水( $\Delta\epsilon_3$ )とも個人差は小さい。またそれらの比 $\Delta\epsilon_3/\Delta\epsilon_2$ はほとんど一致している。発汗にともなう結合水( $\Delta\epsilon_2$ )、自由水( $\Delta\epsilon_3$ )の変化を調べたものが、第5図および第6図に示す特性図である。第6図は発汗後の緩和時間( $\log \tau$  [s])と時間tとの関係を示したものである。第5図は人間の皮膚の発汗後の緩和強度を時間と共に示したものである。汗が出始めると、 $\Delta\epsilon_3$ からもわかるように、自由水は増加する。その後、発汗を抑制すると、自由水の量は $\Delta\epsilon_3$ からもわかるようにピークを示しその後減少する。約20分で皮膚は元の状態に戻る。一方、結合水は $\Delta\epsilon_2$ からもわかるように何らの変化もしない。つまり、発汗による皮膚組織の変化はほとんどないということがわかる。

#### <第2の測定例>

第2の測定例は人間の皮膚に乳液を塗布し、その乳液の皮膚に与える効果を測定したものである。尚、標準物質としてはアセトンを用いた。

第7図は乳液の第1緩和強度 $\Delta\epsilon_1$ 、第2緩和強度 $\Delta\epsilon_2$ 、第3緩和強度 $\Delta\epsilon_3$ を時間t (min)とともに示したものであり、特性Kが乳液による測定値から求めたものである。

第7図において $\Delta\epsilon_3$ からもわかるように、塗布により自由水が増え、時間とともに減少し20分程度で元に戻る。一方、結合水も第7図の $\Delta\epsilon_2$ からわかるように塗布と共に急激に増加するが、その後の現象はゆるやかである。また、結合水は約50%も増え保湿効果があること

20 が明らかである。その効果は長時間にわたり持続することがわかる。

#### <第3の測定>

第3の測定は人間の皮膚に軟膏を塗り、その軟膏の皮膚に与える効果を測定したものである。尚、標準物質としてはアセトンを用いた。

第7図は軟膏の第1緩和時間 $\Delta\epsilon_1$ 、第2緩和時間 $\Delta\epsilon_2$ 、第3緩和時間 $\Delta\epsilon_3$ を示したものであり、特性Lが軟膏による測定値から求めたものである。

第7図の特製Lは、第2緩和( $\Delta\epsilon_2$ )、第3緩和( $\Delta\epsilon_3$ )でも変化していない。これは、結合水、自由水ともに変化がないことを意味している。第1緩和( $\Delta\epsilon_1$ )に若干の変化が見られるが、乳液(特性K)と比較して変化が少ない。このような特性が見られるのは軟膏が皮膚を保護しているからである。

#### <第4の測定>

第4の測定は、生体物質の結合水、自由水を定量的に測定できる本発明装置を使用することにより、食品(肉、魚、野菜等)の鮮度や冷凍の効果などを測定したものである。尚、標準物質としてはアセトンを用いた。

40 例えば、鳥肉(ササミ)を当該物性測定装置1により、測定した結果を第2表に示し、野菜(人参)を当該物性測定装置1により測定した結果を第3表に示す。

第2表および第3表は、「生」、「冷凍」、「煮る」、「焼く」という状態によって、第1緩和、第2緩和、第3緩和における誘電強度 $\Delta\epsilon_1$ 、 $\Delta\epsilon_2$ 、 $\Delta\epsilon_3$ と緩和時間 $\tau_1$ 、 $\tau_2$ 、 $\tau_3$ が求められる。

11

第

2

表

12

	緩和 1		緩和 2		緩和 3	
	$\Delta \epsilon_1$	$\log \tau_1(s)$	$\Delta \epsilon_2$	$\log \tau_2(s)$	$\Delta \epsilon_3$	$\log \tau_3(s)$
生	50.7	-8.16	16.2	-9.31	46.1	-10.89
冷凍	52.7	-8.09	18.0	-9.21	58.9	-11.89
煮る	52.1	-8.21	17.7	-9.17	28.8	-11.89
焼く	67.3	-8.18	21.1	-9.16	38.8	-11.85

第

3

表

	緩和 1		緩和 2		緩和 3	
	$\Delta \epsilon_1$	$\log \tau_1(s)$	$\Delta \epsilon_2$	$\log \tau_2(s)$	$\Delta \epsilon_3$	$\log \tau_3(s)$
生	64.2	-7.62	10.3	-9.13	47.4	-10.92
冷凍	58.3	-8.03	4.6	-9.13	53.7	-11.80
煮る	29.4	-8.61	1.9	-9.13	63.4	-11.87
焼く	56.7	-8.01	17.5	-9.20	49.4	-11.56

## [応用例]

本発明装置は、各種の分野への応用が可能である。以下に  
 下に応用分野について説明する。

## (エレクトロニクス)

宇宙通信では既に10～50GHzの高い周波数が用いられている。一般にエレクトロニクスや通信回路でも本発明はGHz帯域での誘電率や誘電損失の測定に簡単に利用できる。ファインセラミックスや、高分子絶縁材料、回路用基板等の誘電率などの測定に優れている。また液晶材料の機能あるいは基礎的、分子論的研究に本発明を応用することは適している。

## (化学工業)

本方式は水分検出に極めて有効である。したがって、残留水分が問題となる物質の水分含有量測定に有効である。塗料、エマルジョン等この分野での応用が考えられる。

## (食品)

食品は、自由水や結合水の含有量を知ることにより物質の鮮度等が判る。したがって、例えば、第2表に示した冷凍の効果についてであるが、動物の筋肉の場合、解凍したものは冷凍前の物よりも自由水（通常の水）が増えていることが判る。所謂水っぽいわけである。冷凍を繰り返せばさらに自由水は増える。野菜では一度冷凍することにより自由水は増え、結合水は減少する。冷凍の効果は動物よりも野菜の方がはるかに強いといえる。

また、調理した食品についても調理の方法により自由水や結合水の変化に差異が生じることが判る。鳥では自由水にその効果が、人参では結合水にその効果が顕著に見える。生の新鮮な人参での第1緩和の強度は極めて大きく、冷凍や調理により著しく減少することも注意する必要がある。

本システムの食品、衛生面での用途は極めて広いと考

えられる。

## (薬品、化粧品)

化粧品の効果は、人間の皮膚についてのみに注目されている。人間の皮膚も一般の生体物質と同様結合水と自由水を持っている。結合水による誘電強度は約22で人にほとんど依存しない。しかし、自由水は20～28（水分全体の30～40%）と人により異なる。水気の多い人と少ない人がいるわけである。化粧品を塗布した場合、結合水よりも自由水に大きな変化が現われる。この変化は塗布後の時間の関数として求められる。例えば、乳液の場合、塗布直後には自由水が約2倍になるが、約30分後には元に戻る。結合水は50%増加し徐々に減少する。結合水からその保湿効果を図ることができる。

薬品の効果でも特に皮膚に塗布する薬品については同様の測定によりその効果が測定ができる。

## (医学)

皮膚疾患、特に外傷、火傷等に関しては、その検診及び薬品の効果について本システムが利用できる。皮膚の細胞組織の変化には必ずや結合水や自由水の変化が伴うことが予想される。

また、センサーの形状に因っては皮膚表面より2～3mm程度なかの誘電情報が得られる。これを用いることにより皮膚あるいはその下に出現した異常細胞消滅に有効なマイクロ波加熱の周波数を特に選ぶことができる。この周波数は人により異なることが予想され、この選択は極めて重要であると思われる。さらにこの周波数を用いたマイクロ波を発信させ、異常細胞のみの加熱を行なうことにより治療効果を促進させる。測定電極とマイクロ波発振器を一体化することによりその効果は倍加することが予想される。

フレキシブルな細い電線の先に取り付けられた小形の電極部分はファイバースコープと共に食道や胃に達する

ことができ、胃ガンや食道ガン等の治療に役立つことも期待される。

(スポーツ)

発汗すると、人の皮膚の自由水は約2倍増加するが、結合水には変化がみられない。発汗後は約20分で元の状態に戻る。本センサーは発汗の定量化及び発汗制御による運動機能の制御等の研究に有効である。

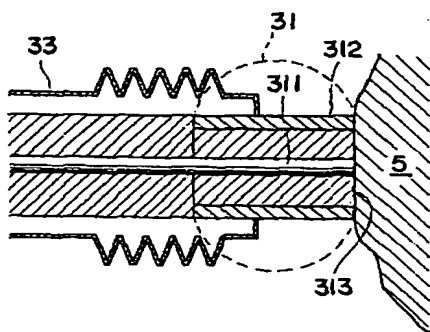
(その他)

上記の用途の他にも含有水分が重要となる土木、建築資材などの測定にも有効である。

このように本発明は各種分野への応用が考えられる。

尚、上述の実施例は好適な実施の一例ではあるがこれに限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲において種々変形実施可能である。例えば、本実施例で用いたプローブ31は被測定物5へ当接する面が平面状になっているが、異なる形状であっても良い。この場合、直接接しない部分についての反射成分を補正する必要がある。また、励起信号としては、ステップパルスの使用が1つのパルスで広い周波数帯域をカバーできるので測定時間の短縮化において好適であるが、これに限定されるものではなく、正弦波のような他の電磁波を使用することも可能である。但し、この場合、各周波数毎の信号を入力しなければならないので時間がかかる問題がある。また、パルスとしても、矩形波に限定されず、のこぎり波や三角波のようなものでも、台形波、半波ないし全波整流波、長方形パルス等の各種歪正弦波が利用

【第2図】



できる。

(発明の効果)

以上の説明より明らかなように、本発明は、励起信号を被測定物と標準物質に与え、それらの反射波を周波数領域に変換し、その周波数成分により被測定物の物性を測定するようにしたので、同時測定が困難な入射波を測定せずに被測定物と標準物質の反射波測定だけで足り、測定が容易でありかつ被測定物に特殊な操作を加えることなく物性を得ることができる。

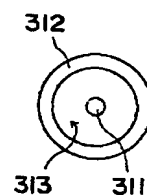
10 また、本発明によれば、単に被測定物に検出手段を当てるだけで測定できるので、被測定物が少なくても済みかつ励起信号に対する反射波の周波数成分から、かつ物性の測定ができるので測定を簡単に完了することができる。

【図面の簡単な説明】

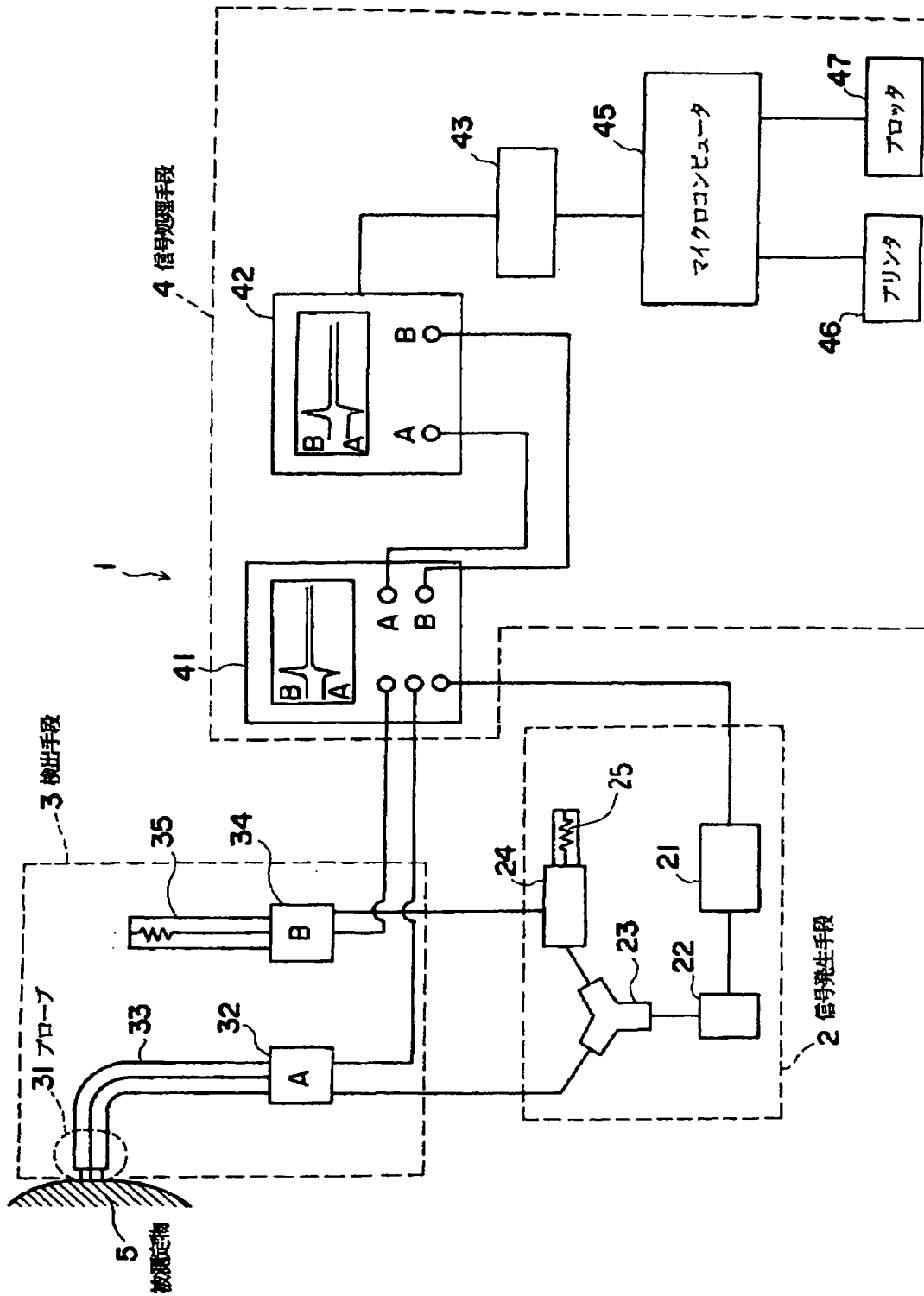
第1図は本発明の実施例を示すブロック図、第2図は本発明の実施例で用いるプローブの縦断面図、第3図は同プローブの正面図、第4図は周波数に対する分散吸収の様子を示す波形図、第5図は皮膚の緩和強度に対する時間の依存性を示す波形図、第6図は発汗後の緩和時間の時間依存性を示す波形図、第7図は食肉及び野菜の緩和強度に対する時間の依存性を示す波形図である。

1 ……物性測定装置、2 ……信号発生手段、  
3 ……検出手段、4 ……信号処理手段、5 ……被測定物。

【第3図】

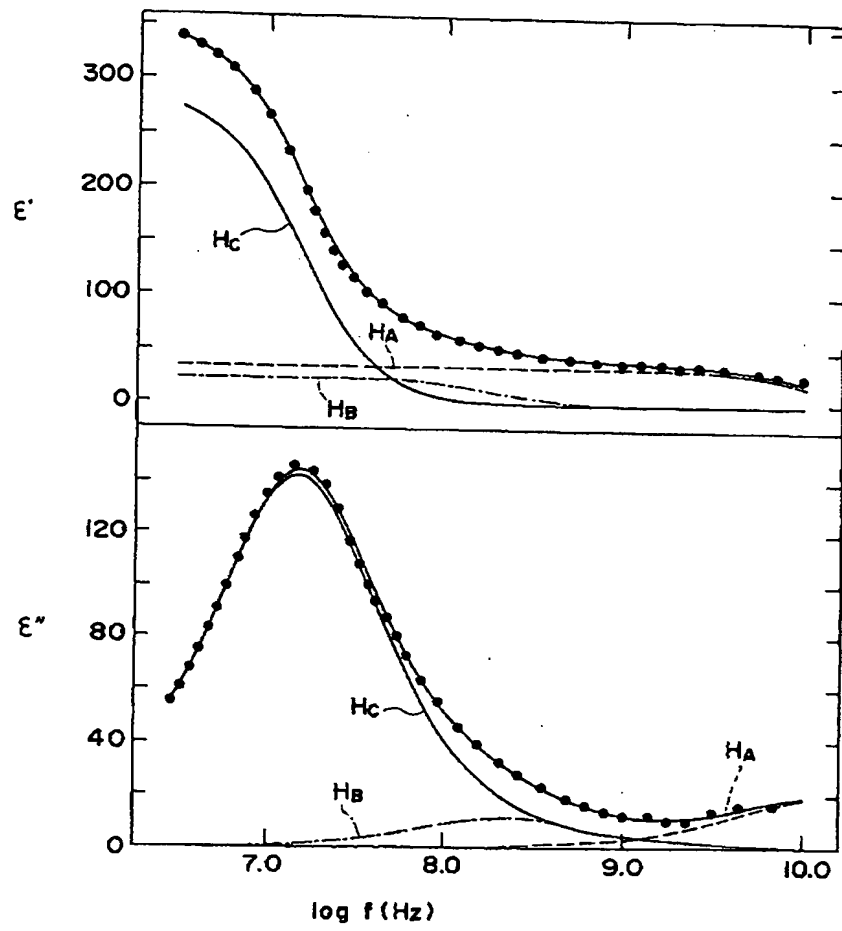


【第1図】

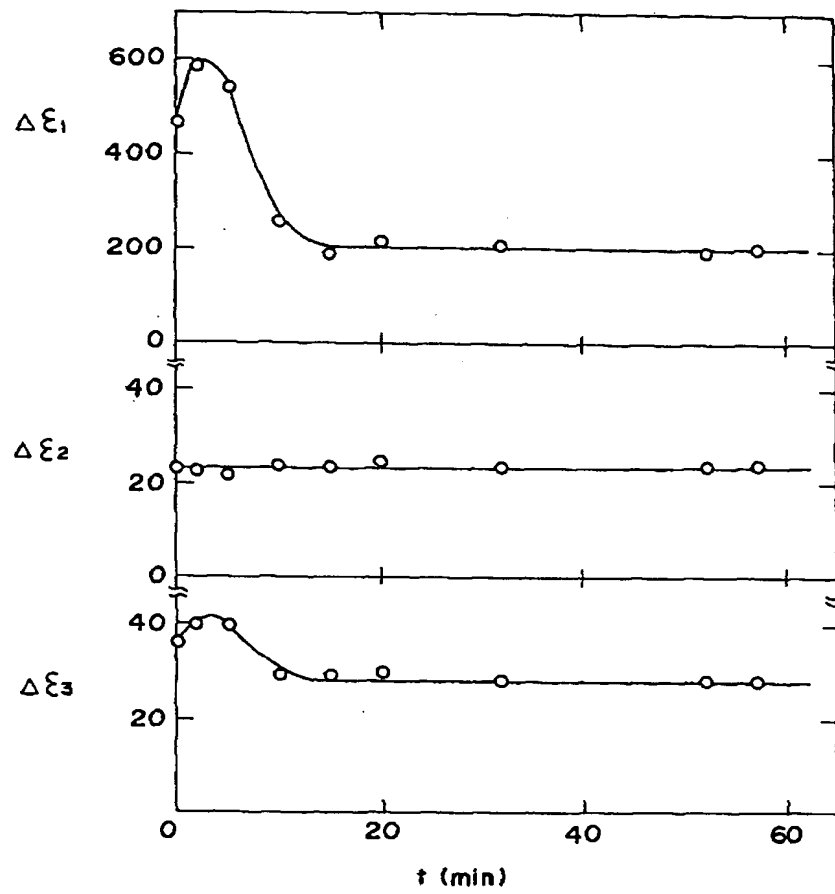




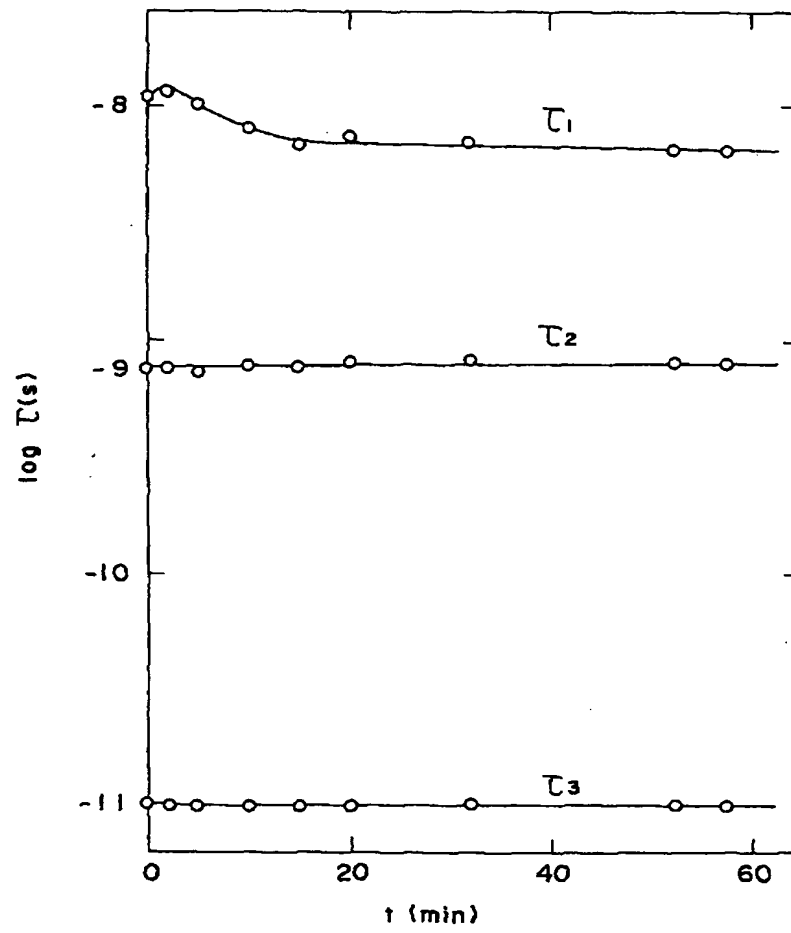
【第 4 図】



【第5図】



【第6図】



【第7図】

